LA EFICIENCIA EN LAS CALDERAS

---------- a combustión de leña ----------

Cuando hablamos de Eficiencia en una caldera , estamos hablando en realidad para el Industrial de : **" cuantos N$ me cuesta el Kg.. de vapor "** . No estamos involucrando solamente la caldera en sí , sino que el costo de la leña , su manipuleo y su estacionamiento .

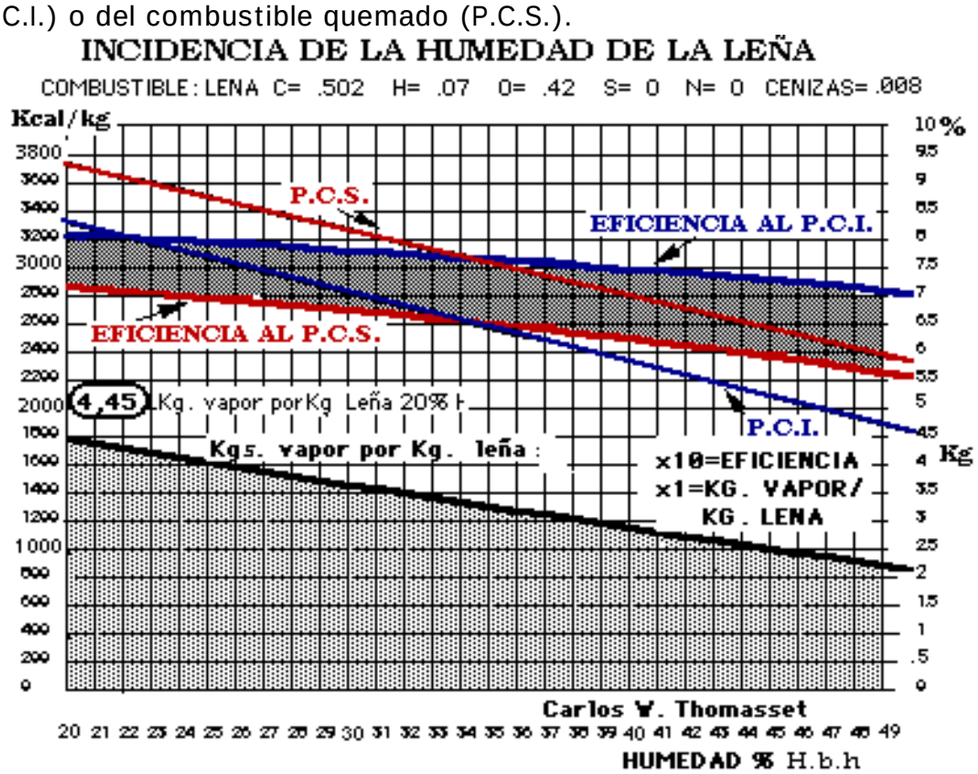
Pero la palabra Eficiencia expresada en un % , sin especificar las circunstancias de su medida y su relación a un determinado poder calorífico , poco y nada dice , logrando muchas veces confundir a quienes la usan , dando una falsa idea respecto a una buena caldera o sistema de combustión.

Los ensayos de Eficiencia si bien están normalizados , muchas veces se hace difícil su ejecución .

La medida de la Eficiencia debe ser encarada de acuerdo a su utilización posterior , ya que no es lo mismo la **comparación de la Eficiencia de la misma caldera** en distintas circunstancias (leña con distinto tenor de humedad , % de carga, excesos de aire , caldera limpia o sucia, etc.). , que la **comparación de Eficiencias de distintas calderas** (ya que en este caso entran otros parámetros locales a juzgar : forma de operación -variación del % de carga-, % de purgas , pérdidas de agua y vapor , etc.).

Si ponemos en claro algunos aspectos de la misma , esto nos puede ayudar a su **interpretación.**

Primero debemos de aclarar que cuando medimos una Eficiencia en una caldera , debemos relacionar el calor aprovechado (que obtenemos en el vapor) con el calor suministrado . Dado que tenemos un Poder Calorífico Superior (P.C.S.) y un Poder Calorífico Inferior (P.C.I.) , según sea cual de los dos tomemos , ese % reflejará mejor el comportamiento de la Caldera (P.C.I.) o del combustible quemado (P.C.S.).



Cuando se compara la Eficiencia de una misma caldera y se hace **el cálculo del ahorro o pérdida** , es indiferente a cual de los dos P.C. nos referimos (siempre que la relación sea al mismo: inferior o superior) para el cálculo de la Eficiencia , ya que con cualquiera de los dos , numéricamente el ahorro ó pérdida será el mismo (esto se debe a la relación matemática que establece dicho ahorro o pérdida).

No es así cuando nos referimos a la Eficiencia como un % visual (a la comparación visual o analógica de dos Eficiencias o sea : a la diferencia numérica entre las dos Eficiencias).

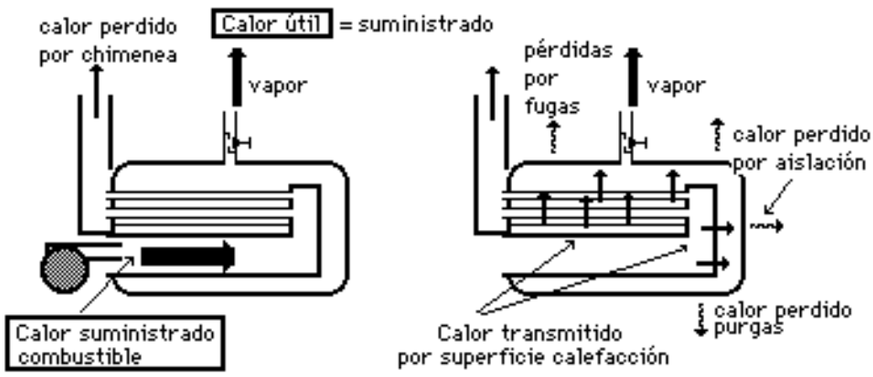
En la quema de leña , dado las variaciones de la humedad de la misma , hace que esto sea critico , por ello , si lo que debemos **juzgar es a la caldera** , es de suma importancia referirnos al **P.C.I.** .

Si **es una medida directa** : Calor suministrado al vapor (midiendo los Kg.. de vapor/hora y su calor total tomado en la caldera) versus calor suministrado por la leña (P.C.I. ó P.C.I.) , **debemos preguntarnos:** en cuanto tiempo ? , cuanto hace que se limpió la caldera por última vez ? , que humedad tiene la leña? , que % de carga ?, como varía dicho %? , que exceso de aire? , hay monóxido de carbono en los gases? , que % purga ? , hay pérdidas de agua o vapor antes del medidor de vapor ?, que temperatura tiene el agua de alimentación?, que temperatura ambiente ? como varía la presión ? , como carga la leña el personal ? (frecuencia) , etc.

Si **es una medida indirecta** (Eficiencia a la Combustión): medida de la pérdida en gases de chimenea (midiendo oxígeno, anhídrido carbónico, monóxido de carbono- Exceso de aire y gases no quemados - temperaturas gases y ambiente ,% humedad de la leña , etc.) también deben aclararse los elementos anteriores .

Lo que quiero significar es que **un simple % no es suficiente** para tener una idea clara sobre una caldera determinada y menos poder **compararla con otra caldera** cuando dichos parámetros son diferentes .Esta Eficiencia puede ser puntual o promedio .

Quizás para juzgarla sea más conveniente desglosar la Eficiencia Total (Directa) en el producto de Eficiencias (Indirectas) : **Eficiencia de la Combustión x Eficiencia de la Caldera como Equipo Térmico,** que debe dar como resultado el mismo que la **Eficiencia Total medida en forma directa.**



Calor útil = suministrado

calor vapor menos calor agua alim.

Eficiencia total = ×100=%

Eficiencia de combustión =100 − ×100=%

calor perdido por chimenea

← calor al P.C.S. ó P.C.I.

Eficiencia total = − Pérdidas chimenea − Pérd. aisl. − Pérd. purgas − Pérd. fugas ×100=%

← Calor P.C.S. ó P.C.I.

Eficiencia como equipo térmico = − Pérdidas chimenea − Pérd. aisl. − Pérd. purgas − Pérd. fugas ×100=%

P.C.S. ó P.C.I. → − Pérdidas chimenea

Aclaremos estos términos :

Eficiencia de la Combustión (referida al P.C.S. ó al P.C.I.)

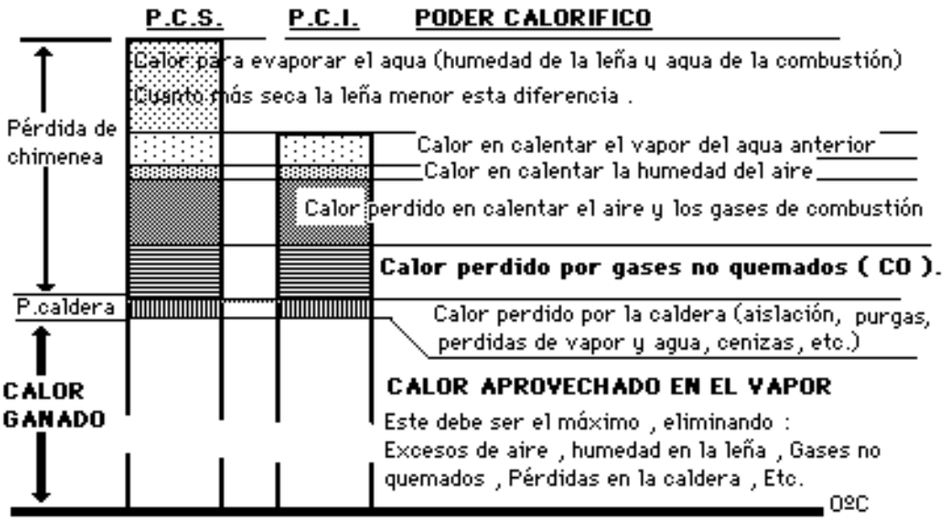
Esta Eficiencia es la relación del calor **que logra transferirse** a la caldera con el calor suministrado por el combustible (P.C.S. ó P.C.I.) o visto de otra forma : **es el calor suministrado por el combustible menos el calor perdido por los gases de chimenea en relación al calor suministrado por el combustible** (siempre referido al P.C.S. ó P.C.I., en este último no se considera el calor latente de vaporización del agua de combustión y humedad de la leña , pero sí su sobrecalentamiento).

El calor que logra transferirse no significa que sea calor aprovechado o tomado por el vapor.

Cuando medimos esta Eficiencia de Combustión estamos juzgando las condiciones de la combustión y las condiciones de transferencia .

Por ejemplo : si hay exceso de aire la Eficiencia Combustión baja también si la superficie de transferencia se encuentra sucia de hollín o incrustada (Sube temperatura de gases de chimenea aunque la combustión sea muy buena), la humedad de la leña , la afecta la presión del vapor , el % de carga , la forma de carga de leña al hogar (frecuencia) , etc.

Esta Eficiencia de Combustión nos permite juzgar el comportamiento de la caldera o calderas entre sí (desde el punto de vista de la combustión y transferencia) ó comparativamente a situaciones anteriores, **siempre y cuando aclaremos los parámetros a los que esta referida y a que Poder Calorífico.**

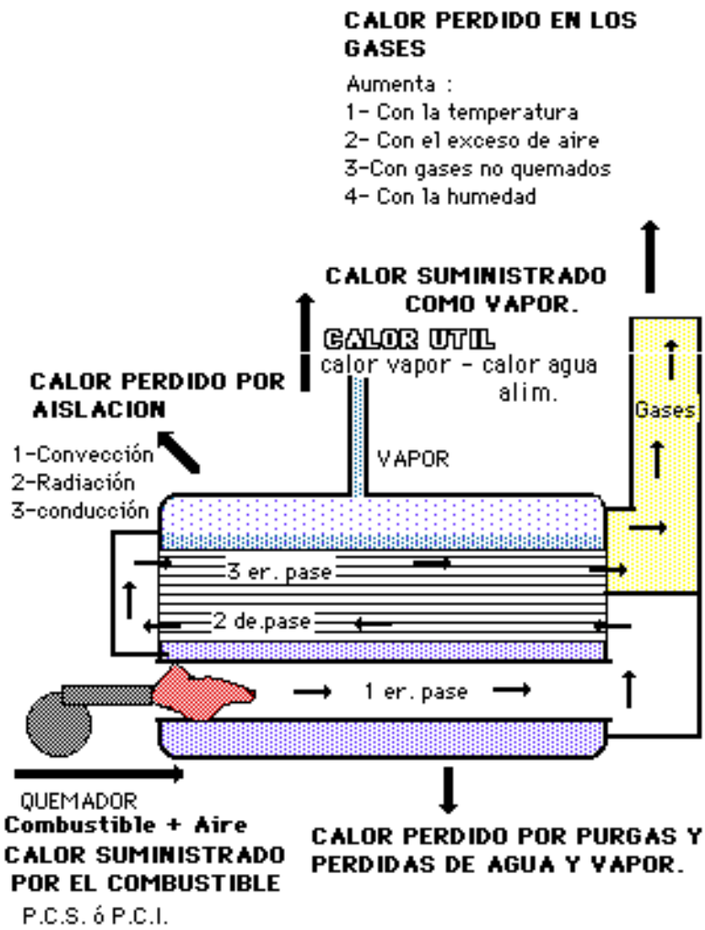

P.C.S.
P.C.I.
PODER CALORIFICO
Calor para evaporar el aqua (humedad de la leña y aqua de la combustión)
Cuanto más seca la leña menor esta diferencia .
Pérdida de chimenea
Calor en calentar el vapor del aqua anterior
Calor en calentar la humedad del aire
Calor perdido en calentar el aire y los gases de combustión
Calor perdido por gases no quemados (CO).
P.caldera
Calor perdido por la caldera (aislación, purgas, perdidas de vapor y agua, cenizas, etc.)
CALOR GANADO
CALOR APROVECHADO EN EL VAPOR
Este debe ser el máximo , eliminando :
Excesos de aire , humedad en la leña , Gases no quemados , Pérdidas en la caldera , Etc.
0ºC

La Eficiencia de la Caldera como Equipo Térmico se puede establecer como la relación del **calor suministrado al vapor** (calor tomado en la caldera) al **calor suministrado por la transferencia térmica** (calor suministrado por el combustible menos el calor que se ha perdido por la chimenea).

Esta Eficiencia esta afectada por todas aquellas pérdidas de calor que se produzcan entre el calor que se recibe en la superficie de transferencia y el calor suministrado al vapor : pérdidas por radiación , convección , conducción , pérdidas de agua y vapor , purgas . etc. Ver notas al final.

Esta Eficiencia es importante para juzgar el estado de determinados elementos de la caldera (como ser la aislación , las pérdidas en válvulas u otros , etc.) , siempre y cuando se acompañe con otros parámetros y valores anteriores . La misma es afectada por la presión de vapor , por el tratamiento químico interno (% de purga), por el mantenimiento a sus accesorios (pérdidas de agua y vapor) , **el % de carga a que se encuentra sometida la caldera** , por la condiciones ambientales de la sala (temperatura y velocidad del aire , etc.).

Cuando comparamos calderas adaptadas , esta Eficiencia como Equipo Térmico es de fundamental importancia , ya que una buena adaptación podrá ser muy buena desde el punto de vista de la Eficiencia a la combustión , pero muy mala la Eficiencia Total debido a la pérdida provocada por una mala Eficiencia como Equipo Térmico.

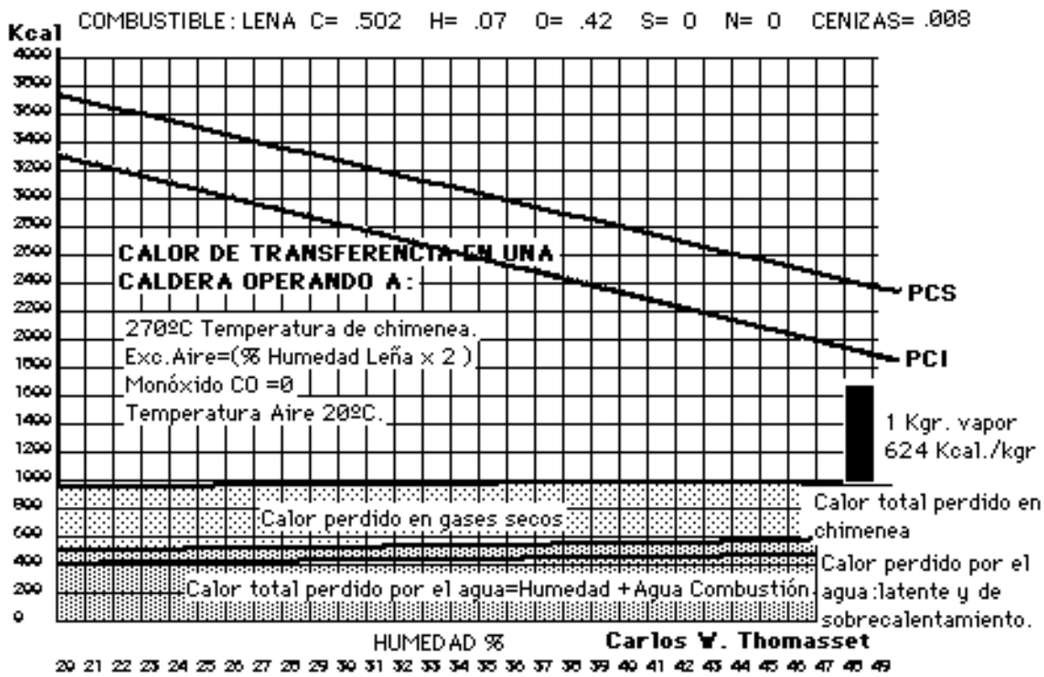


CONSIDERACIONES SOBRE LOS DISTINTOS ELEMENTOS QUE INFLUYEN SOBRE LA EFICIENCIA.

Humedad de la leña :

Afecta mucho la Eficiencia Total (por afectar directamente a la Eficiencia a la Combustión) , se refleja más en la Eficiencia referida al P.C.S. , ya que en la medida de la Eficiencia referida la P.C.I. solo se considera el calor perdido en el sobrecalentamiento del vapor de agua producido por la humedad y no el calor de vaporización . Si lo que deseamos es comparar distintas partidas de leña conviene usar la Eficiencia referida al P.C.S. , ya que la diferencia en % es más notoria . (En el cálculo del ahorro es indiferente , ya que matematicamente se anula ese efecto visual o analógico).

Pero debemos de ser cuidadosos cuando comparamos calderas distintas, aún refiriéndonos a la Eficiencia al P.C.I. , ya que una leña de mayor tenor de humedad nos obliga a trabajar con mayor exceso de aire , pudiéndose aún en esas condiciones producir monóxido de carbono (cuya pérdida incide muy violentamente , casi el 7% por cada 1% de monóxido - gases sin quemar).


COMBUSTIBLE: LENA C= .502 H= .07 O= .42 S= 0 N= 0 CENIZAS= .008
Kcal
CALOR DE TRANSFERENCIA EN UNA CALDERA OPERANDO A:
270ºC Temperatura de chimenea.
Exc.Aire=(% Humedad Leña x 2)
Monóxido CO =0
Temperatura Aire 20ºC.
PCS
PCI
1 Kgr. vapor 624 Kcal./kgr
Calor total perdido en chimenea
Calor perdido en gases secos
Calor perdido por el agua:latente y de sobrecalentamiento.
Calor total perdido por el agua=Humedad +Agua Combustión
HUMEDAD %
Carlos W. Thomasset

Esto no debe confundirnos al juzgar la caldera , ya que una caldera de buen rendimiento puede estar quemando leña con una **humedad del 40% o más** , cosa que no todas las calderas pueden lograrlo (ya que la combustión no puede auto-sostenerse en esos casos debido al alto contenido de agua de la leña : calderas de combustión muy fría o del tipo a gasificación)

Exceso de aire :

Todos sabemos que el exceso de aire baja la Eficiencia de Combustión , pero es necesario para lograr una buena combustión , que este exceso sea mantenido en un mínimo , siendo importante tener el suficiente aire para que no se produzca monóxido o que este monóxido no provoque mayor pérdida que la del propio exceso de aire. Este efecto se encuentra atado a la humedad de leña . Una leña con alto tenor de humedad no solo necesita más aire , sino que ensucia la caldera más rápidamente .

% de carga : (% de la capacidad nominal de la caldera : Kg../Kg.vapor)

Una caldera **trabajando a bajas cargas tiende producir mayor % de pérdida bajando la Eficiencia como Equipo Térmico**, ya que si bien la cantidad de calor perdido en la caldera (no por chimenea) es casi el mismo a cualquier carga (esta pérdida es fija , salvo que varíe la presión del vapor, el % de purgas , las condiciones de la sala o las pérdidas de agua y vapor) , no así el calor transferido que es proporcional a la carga (Calor al que se relaciona). si bien normalmente hay más exceso aire en baja carga , que aumenta la pérdida de la Eficiencia a la Combustión por un lado, pero al disminuir la temperatura de los gases de salida (por corrimiento de las temperaturas de intercambio), esto se compensa en parte- dependiendo del tipo de caldera será mayor o menor la Eficiencia a la Combustión . Pero afectando en forma importante a la Eficiencia Total al afectar la Eficiencia como Equipo Térmico .

Por supuesto que una mala caldera , cuya Eficiencia como Equipo Térmico es malo , cuanto mayor sea el % de carga, si tiene una buena Eficiencia a la Combustión, su Eficiencia Total será relativamente buena, pero en el promedio de marcha hará que esta Eficiencia baje notablemente al bajar el promedio de % de carga (generalmente caldera antiguas adaptadas : "efecto edificio " - gran volumen físico y mucho refractario para una determinada generación de vapor equivalente).

Así sea para comparar la Eficiencia Total de una caldera entre sí o con otra caldera, debemos tener muy en cuenta de aclarar el % Carga .

Temperatura de gases de chimenea :

Es evidente que cuando esta aumenta , aumenta % de pérdida en los gases de chimenea, por lo tanto baja la Eficiencia de Combustión y baja la Eficiencia Total .

Sin embargo no se puede decir que haya una mala combustión (ya que esto no quiere decir que haya exceso de aire solamente) , ya que la causa puede ser variada . **En el caso que suba la temperatura:** Caldera sucia de hollín (o cenizas), caldera incrustada , caldera forzada en su capacidad de carga, baffles de gases en "corto circuito" , exceso de aire , aumento de la presión de trabajo, mala conducción de los fuegos (fuegos corridos de su zona normal). **En los casos de temperatura comparativamente alta en forma permanente** : diseño de la caldera no adecuado (diseños antiguos, épocas de combustibles baratos y metales caros).

Es más notable la pérdida producida por aumento de la temperatura de gases de chimenea, que la producida por exceso de aire en la mayoría de los casos..

Es muy importante para juzgar una caldera , ver la variación de la Eficiencia Total en el tiempo (30 a 60 días)**, por medio de la Eficiencia a la Combustión o Total Directa, observando el comportamiento de la temperatura de gases de chimenea a través del tiempo** . La misma caldera estando limpia de hollín (o cenizas) **podrá tener una buena Eficiencia de Combustión** (buena transferencia térmica), **que podrá ser mala con el paso del tiempo** (por los residuos precipitables -alquitranes-aglomeradores del hollín o cenizas- muy aislante) que hace que la **Eficiencia a la Combustión baje, provocando una Eficiencia Total (promedio) muy baja en algunos casos** (normalmente en combustiones frías).

Es importante indicar al medir la Eficiencia el estado de limpieza en que se encuentra la caldera .

"Efecto Edificio ":

Este término expresa el hecho de la relación física (tamaño) de la caldera en relación a la producción de vapor (Es el mismo término de "casa grande, que difícil de calefaccionar").

Esto esta significando que la Eficiencia como Equipo Térmico en determinados tipos de caldera, afecta mucho la Eficiencia Total, magnificándose en las cargas bajas.

Los casos más notorios son las calderas antiguas adaptadas, de gran volumen respecto a la capacidad de producción de vapor, cuya pérdidas por radiación, convección y conducción son de mucho valor. Como este efecto es casi imposible eliminar, ya que aislando en exceso pueda ser contraproducente (ya que estas caldera tienen por lo general mucho refractario y mampostería - que debe permitirse su enfriamiento exterior en cierto grado-para que no se deteriore).

En estos casos por buena que sea la Eficiencia de Combustión, el costo del vapor no es todo lo bajo que debería ser, este error conceptual de Eficiencia solo puede arreglarse cambiando el equipo. El % de carga esta relacionado en forma directa con este efecto.

Presión del vapor:

El primer recurso para ahorrar combustible es bajar la presión del vapor, por ello **es muy importante al medir las Eficiencias tenerlo en consideración** . Afecta tanto a la Eficiencia de Combustión (sino tiene recuperadores de calor en gases de chimenea) como a la Eficiencia de la Caldera como Equipo Térmico, por lo tanto la Eficiencia Total siempre se verá afectada. No podremos comparar calderas a presiones diferentes sin tomar esta consideración.

Poderes caloríficos y combustible no quemado en cenizas:

Estos son muy difíciles de tener en un valor exacto (dado su variabilidad por las condiciones del combustible) y los combustibles no quemados en ceniza (carbones) dependen en gran forma del operador.

Pérdidas de agua y vapor :

En este caso es caso cualquiera sea el % de carga de la caldera, las pérdidas serán constante, afectando más a bajos % de carga a la Eficiencia de la Caldera como Equipo Térmico. **Por eso cuando se comparen Eficiencias Totales de situaciones o calderas distintas, se deben de eliminar todas las pérdidas de agua y vapor** .

% de purga :

La purga de fondo y continua (así como las de los controles de nivel que deben ser purgados periódicamente para la limpieza y la seguridad de funcionamiento) son una necesidad para el correcto tratamiento interno del agua de caldera (para eliminar barros y sales disueltas en exceso). Si bien su uso normal afecta la Eficiencia de la Caldera como Equipo Térmico, afecta por lo tanto a la Eficiencia Total (directa o promedio). Por que al comparar las Eficiencias, debemos de ser cuidadosos al tener en cuenta el % de purga que pueda estar afectando a la misma .

Calidad de la leña:

En esto influye las condiciones del estacionamiento y el tiempo transcurrido. El "envejecimiento", la degradación biológica, el "enyuyamiento" del piso, piso barroso, aire estancado, secado sin cáscara o con cáscara , etc.

Formas operativas :

Es evidente que la caldera se comporta igual que al conducir un automóvil, depende su Eficiencia de la forma en que es operada . Si las personas a cargo, **dado que la carga de leña es discontinua**, hacen estas cargas en forma muy irregular o inadecuadamente, **si operan los controles de aire y gases manualmente en forma inadecuada** (aire primario-secundario ó tiro inducido) , **la Eficiencia Total varía** (por variación fundamentalmente de la Eficiencia de la Combustión).

Para comparar la caldera entre sí debemos de considerar este factor, ya que su variación puede ser de muchísimo valor (pudiendo en algunos casos ser de más del 15%).

Es aconsejable que los controles de los aires y gases sean automatizados , ajustando los mismos de acuerdo a la forma de varían las cargas en cada planta en particular .

CONSIDERACIÓN FINAL :

Lo real en la Eficiencia de Calderas a leña es: cuanto N$ cuesta el Kg. de vapor .

Ya que este contempla todos los factores anteriores, más aquellos externos a la caldera, pero ligados a ella, como ser : Cantidad de personal afectado a la operación por Kg.. de vapor, mayor o menor necesidad de tiempo de estacionamiento para secado de la leña (costo financiero), tamaño de la leña (costos de los cortes y manipuleo) , necesidad de mantenimiento (tiempo de marcha sin parar para limpieza o reposición de partes).

Pero todo debe ser juzgado en un tiempo prolongado (30 días por lo menos)**, ya que una caldera a leña tiene muchos elementos que la pueden afectar en su Eficiencia .**

Tal es así , que hasta las estaciones del año deben ser tenidas en cuenta .

Nota final :

Estos comentarios, si bien en general se encuentran en la literatura especializada , muchos de ellos son conceptos de "cosechas propias" en el trabajo diario y no pretenden alterar dicha literatura, sino simplemente , ayudar al hombre que vive y trabaja con las calderas en sus decisiones prácticas.

CARLOS W. THOMASSET
ASESOR TÉCNICO INDUSTRIAL

Montevideo-URUGUAY